

INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTITUCIÓN DE
DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA

CRISTIAN OROZCO BERNAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
2015

INSPECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTITUCIÓN DE
DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA

CRISTIAN OROZCO BERNAL

Proyecto de grado

Para optar al título de

Tecnólogo Electricista

Director: Santiago Gómez Estrada

Docente Programa de Tecnología Eléctrica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
PEREIRA
2015

Nota de aceptación:

Firma del director del programa

Firma del director del proyecto

Firma del jurado

Pereira, Junio de 2015

Agradecimientos

Quiero agradecerle primero a DIOS por haberme brindado vivir esta gran oportunidad en mi vida.

A mi madre MARIA BELARMINA por el apoyo incondicional que me dio, por esa insistencia de verme formado como un profesional con ética y valores.

A mi padre por enseñarme a afrontar cada obstáculo que se presente en mi vida, por darme consejos que me ayudaron a convertirme en una gran persona.

A mi hermano por acompañarme en todo los momentos buenos y malos de mi vida.

Agradecerle a mis compañeros Sebastián López, Daniel armando Loaiza, que han sido parte fundamental en mi desarrollo como persona.

Dedico este trabajo a mi familia como muestra de agradecimiento por toda su dedicación y apoyo durante todos estos años de vida.

RESUMEN

Los Sistemas Puesta a tierra (SPT) se han convertido en parte esencial de cualquier instalación eléctrica, llegando a constituirse como parte indispensable de la misma, y para ello se hace uso de una variedad de componentes, que configuren según las necesidades determinadas por medio de los estudios aplicados al Suelo y a los materiales a utilizar en la zona donde se vaya a instalar.

La tierra es el punto de potencial cero, masa o energía mínima que mejor se adapta a los requisitos de las instalaciones eléctricas, siendo utilizada como tensión de referencia o tensión neutra, permitiendo así que los (SPT) sean sistemas capaces de drenar de la forma más eficiente las corrientes perjudiciales o no deseadas protegiendo así, principalmente la vida de las personas que están en contacto o en áreas de influencia de sistemas eléctricos.

La investigación tiene como finalidad, utilizar el MÉTODO DE LA CAIDA DE POTENCIAL, el cual se adquieren los valores de las resistencias de puestas a tierra a medir a partir de estos resultados se diagnosticaran los estados en que se encuentran los sistemas de puesta a tierra de la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA. Dicha interpretación de estos estados permitirán realizar recomendaciones y posibles soluciones que conlleven a un mejoramiento el cual garantice, un sistema de protección eficiente que cumpla con la seguridad de las personas y los componentes de los sistemas eléctricos.

También se realizarán mediciones de resistividad por el método de SEGÚN WENNER que permite realizar un sondeo eléctrico a todo el terreno, obteniendo un perfil de resistividad el cual permite deducir la resistividad aparente y las diferentes capas que conforman el suelo, obteniendo una mejor interpretación del funcionamiento de los sistemas de puesta a tierra (1).

Tampoco la resistividad del terreno es igual y uniforme para los distintos terrenos, dependiendo de los materiales que lo forman. Ni tan siquiera para un mismo tipo de terreno, los valores de la resistividad se mantendrán constantes a lo largo del año, variando desde valores mínimos en épocas lluviosas y húmedas, a valores máximos durante los periodos secos.

CONTENIDO

	Pág.
1. CAPÍTULO 1	12
1.1 RESISTIVIDAD DEL SUELO.....	12
1.2 LA RESISTIVIDAD APARENTE.....	13
1.3 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	13
1.4 DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE WENNER.....	13
1.5 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL DE WENNER.....	14
1.6 DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE SCHLUMBERGER. (3)	16
1.7 DISPOSITIVO RECTILÍNEO. (3)	16
1.8 MÉTODO NO RECTILÍNEO. (3)	17
1.9 MÉTODOS DE CÁLCULO DE RESISTIVIDAD EN TERRENOS BI-ESTRATIFICADOS.....	17
1.10 MÉTODO DE LA RESISTIVIDAD MEDIA.....	18
1.11 MODELO DE SUELO DE DOS CAPAS. (6)	18
2. CAPITULO 2	21
2.1 DEFINICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA.....	21
2.2 LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	21
2.3 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A TIERRA.....	22
2.3.1 MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL.....	22
2.4 MÉTODO DE TRIANGULACIÓN O DE LOS TRES PUNTOS. (3)	25
2.4.1 MÉTODO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS. (3).....	25
3. CAPITULO 3	28
3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	28
3.2 MEDICIONES EN EL TERRENO.....	29
3.2.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANEXO A POR EL MODELO DE SUELO DE DOS CAPAS.....	29
3.3 OBSERVACIONES	30
3.4 CONCLUSIONES	30
4. CAPITULO 4	31
4.1 INFORMACION DE LOS SPT PARA LA INSTITUCIÓN NOMBRADA.....	31
4.2 SITIO DE ESTUDIO: SUBESTACIÓN SENA.....	31

4.2.1 Observaciones y recomendaciones:	32
4.3 SITIO DE ESTUDIO: CANCHA DE FUTBOL (MALLA CANCHA).....	33
4.3.1 Observaciones y recomendaciones:	34
4.4 SITIO DE ESTUDIO: CANCHA DE MICROFUTBOL.....	35
4.4.1 Observaciones y recomendaciones:	35
4.5 CONCLUSIONES.	36
5. CONCLUSIONES	37
6. EQUIPO UTILIZADO EN EL ESTUDIO.	39
7. GLOSARIO.	41
8. BIBLIOGRAFIA	43
9. ANEXO A (Estudios de resistividad del suelo).	44
10. ANEXO B (PROCEDIMIENTO DEL MODELO DE SUELO DE 2 CAPAS).	47
11. ANEXO C (ESTUDIO DE RESISTENCIA DEL SPT).	53

LISTA DE ILUSTRACIÓN

Pág.

ILUSTRACIÓN 1.	Esquema del dispositivo simétrico de Wenner. (3).....	14
ILUSTRACIÓN 2.	Principio del SEV. A medida que A y B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas. (3)	15
ILUSTRACIÓN 3.	Sondeo Wenner. La distancia interelectródica pasa de “a” (AMNB) a “n*a” (A’M’N’B’). (2)	15
ILUSTRACIÓN 4.	Esquema del dispositivo simétrico de Schlumberger. (3)	16
ILUSTRACIÓN 5.	Esquema del dispositivo rectilíneo. (3)	16
ILUSTRACIÓN 6.	Esquema del dispositivo no rectilíneo. (3)	17
ILUSTRACIÓN 7.	Representación de un terreno estratificado. (4).....	18
ILUSTRACIÓN 8.	Curvas de Sunde. (6)	19
ILUSTRACIÓN 9.	Curvas de Sunde.....	20
ILUSTRACIÓN 10.	Perfil de resistividad. (6)	20
ILUSTRACIÓN 11.	Principio de Medición de un sistema de puesta a tierra. (3)	23
ILUSTRACIÓN 12.	Método de la caída de potencial aplicando la regla del 61,8. (3)...	25
ILUSTRACIÓN 13.	Método de triangulación o de los tres puntos. (3).....	25
ILUSTRACIÓN 14.	Método de intersección de curvas. (3).....	27
ILUSTRACIÓN 15.	Terreno de medición de resistividad 1, 2, 3.	28
ILUSTRACIÓN 16.	Perfil de resistividad 1 por el modelo de suelo de dos capas.	29
ILUSTRACIÓN 17.	Perfil de resistividad 2 por el modelo de suelo de dos capas.	29
ILUSTRACIÓN 18.	Perfil de resistividad 3 por el modelo de suelo de dos capas.	30
ILUSTRACIÓN 19.	Sitio en el cual se construyó la malla para la subestación.....	31
ILUSTRACIÓN 20.	Conexiones entre el conductor y los electrodos que conforman la malla de la subestación.	32
ILUSTRACIÓN 21.	Sitio en el cual se construyó la malla para la cancha.	33
ILUSTRACIÓN 22.	Conexiones entre el conductor y los electrodos que conforman la malla de la cancha tomados de dos puntos de la ILUSTRACIÓN 21.....	34
ILUSTRACIÓN 23.	Sitio donde se encuentra ubicado el SPT.....	35
ILUSTRACIÓN 24.	Detalles del equipo AEMC 4500 y accesorios para la medición de resistencia de puesta a tierra.....	39
ILUSTRACIÓN 25.	Equipo auxiliar para realizar pruebas.	40
ILUSTRACIÓN 26.	Perfil de resistividad 1 por el modelo de suelo de dos capas.	47
ILUSTRACIÓN 27.	Perfil de resistividad 1.....	47
ILUSTRACIÓN 28.	Curvas de Sunde.....	48
ILUSTRACIÓN 29.	Perfil de resistividad 2 por el modelo de suelo de dos capas.	49
ILUSTRACIÓN 30.	Perfil de resistividad 2.....	49
ILUSTRACIÓN 31.	Curvas de Sunde.....	50
ILUSTRACIÓN 32.	Perfil de resistividad 3 por el modelo de suelo de dos capas.	51
ILUSTRACIÓN 33.	Perfil de resistividad 3.....	51
ILUSTRACIÓN 34.	Curvas de Sunde.....	52

LISTA DE TABLAS

Pág.

TABLA 1 Resistividades de 18 diferentes terrenos superficie según su naturaleza. 12

INTRODUCCIÓN.

Los sistemas de puesta a tierra (SPT), contribuyen de forma importante a la protección y al buen funcionamiento de los sistemas de distribución de energía eléctrica, otorga una baja resistencia eléctrica la cual garantiza una referencia de potencial, lo cual permite drenar a tierra las sobretensiones y las corrientes de cortocircuitos las cuales son producidas por una descarga atmosférica o un fallo en el sistema eléctrico, evitando que se vea comprometida la vida de las personas o afecte el funcionamiento de los componentes del sistema eléctrico.

SPT involucra conocer las propiedades eléctricas y físicas de los suelos (resistividad, permeabilidad, constante dieléctrica), las diferentes configuraciones de los sistemas de distribución, el cálculo apropiado para la configuración del electrodo elegido, todo esto para mantener la resistencia en un valor referencial apropiado lo cual condiciona los valores de las tensiones de paso y de contacto que puedan surgir cuando ocurra una corriente de falla, esto permitirá garantizar que la instalación del sistema de puesta a tierra sea considerada segura.

La resistividad es uno de los principales parámetros del comportamiento del suelo y como este es uno de los componentes involucrados en un sistema de puesta a tierra se vuelve determinante para un diseño correcto; este parámetro se mide fundamentalmente para encontrar los puntos más apropiados para localizar los sistemas de puesta a tierra.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Inspeccionar el estado de los sistemas de Puesta a Tierra instalados en la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Estudiar los métodos empleados en los sistemas de puesta a tierra.
- Verificar el estado del sistema de puesta a tierra, para dar posibles soluciones en el caso de que algún sistema de estos requiera una mejora para garantizar mayor vida útil y brindar más seguridad a las personas y equipos electrónicos.
- Estudiar los métodos utilizados para medir la resistividad del suelo donde se va a trabajar.
- Aprender a manejar de manera adecuada cada uno de los equipos utilizados en un sistema de puesta a tierra.

1. CAPÍTULO 1

1.1 RESISTIVIDAD DEL SUELO.

La resistividad del suelo es la propiedad que tiene éste para conducir electricidad, es conocida además como la resistencia específica del terreno. En su medición, se promedian los efectos de las diferentes capas que componen el terreno bajo estudio, ya que éstos no suelen ser uniformes en cuanto a su composición. En la siguiente TABLA 1, se pueden apreciar algunas resistividades para cierto número de terrenos (2). Estos valores estimativos pueden usarse con buen criterio, sólo en caso de imposibilidad de conocer la resistividad real mediante mediciones en el terreno.

TABLA 1 Resistividades de 18 diferentes terrenos superficie según su naturaleza.

Naturaleza del terreno	Resistividad en ohm*m
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granito y gres procedente de alteración	1500 a 10000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Algunos factores afectan la resistividad del suelo como lo es:

- **Humedad:** La humedad que posee el terreno determina fuertemente su resistividad. El agua que contiene el terreno, debido a su estado higrométrico, es la que influye. Siempre que se añada agua a un terreno disminuye la resistividad respecto a la que tendría en seco. Se dice que un terreno está “saturado” cuando todos sus intersticios están llenos de agua.
- **Temperatura:** La temperatura del terreno también es un factor importante a considerar dentro del estudio de los factores que determinan la resistividad de los suelos. La tierra seca es un aislador excelente; al aire y al sol, las capas de arena

seca de la superficie se acercan mucho a la condición de buen aislador. En general, el grosor de tales capas secas no es muy grande, alcanzan sólo entre 10 y 20 centímetros.

- **Compactación:** Una mayor compactación del suelo disminuye la distancia entre las partículas y se logra una mejor conducción a través de la humedad contenida. A medida que se aumenta el contenido de humedad, se alcanza una especie de saturación ya que el agua envuelve la mayoría de las partículas y un mayor acercamiento entre éstas no influye en la conducción.
- **Concentración de sales disueltas:** La concentración de sales disueltas en el terreno es un factor determinante en la resistividad del mismo. Al existir una mayor concentración de sal en el suelo, éste mejora su conductividad. En forma general, entonces, se podría establecer que mejor conductor es el terreno mientras mayor contenido de sal haya en él (2).

1.2 LA RESISTIVIDAD APARENTE.

Es la resistividad obtenida con una medida directa en el suelo natural, bajo el esquema geométrico especificado por el método SIMÉTRICO DE WENNER, aplicado con circuitos independientes de corriente y potencial.

1.3 MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO.

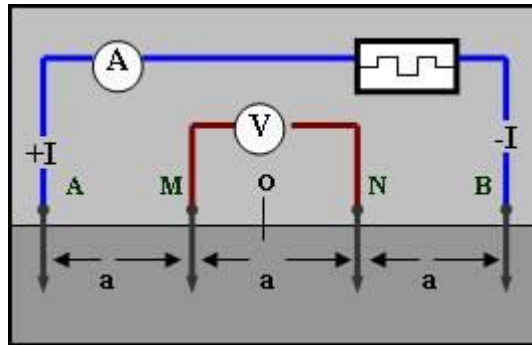
La resistividad del terreno es de importancia decisiva en el proyecto de una puesta a tierra y la única forma de conocerla con exactitud es mediante medidas directas de campo. En líneas generales, la medida se efectúa según una cierta disposición de electrodos de corriente y de potencial.

El objetivo de las mediciones es conocer la resistividad y espesor de cada una de las capas constituyentes del suelo, hasta una profundidad que depende de la zona de influencia de la puesta a tierra. Sin embargo, las diversas configuraciones básicas de electrodos posibles suponen para cada medida la existencia de un medio homogéneo, lo cual conduce a la determinación de una "resistividad aparente", que depende de las distancias particulares a las que se ubican los electrodos (2).

1.4 DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE WENNER.

Generalmente la resistividad del terreno se mide por el método universal de cuatro puntos desarrollado por el Dr. Frank Wenner en 1915. El mismo resulta el más seguro en la práctica para medir la resistividad promedio de volúmenes extensos de suelos naturales. Este método consiste en calcular la resistividad aparente del terreno colocando cuatro electrodos en el suelo dispuestos en línea recta con la misma distancia «a» entre ellos y enterrados a una profundidad que debe ser igual y menor al 5% del espaciamiento de los electrodos, luego estos se conectan a los bornes del instrumento de medida denominado telurómetro mediante cables aislados respectivos (2).

ILUSTRACIÓN 1. Esquema del dispositivo simétrico de Wenner. (3)



El principio de funcionamiento se da de la siguiente manera: al introducir una intensidad “ I ” en el terreno a través de los electrodos de corriente “ A ” y “ B ”, aparecerá en los electrodos de tensión “ M ” y “ N ” una diferencia de potencial “ V ” que será medida con el telurómetro.

El medidor permite variar la intensidad de corriente que se introduce en el terreno. El medidor también registra la tensión “ V ” que se detecta entre los bornes de tensión.

La relación entre la “ V ” y la “ I ” (Ley de Ohm), es el valor de la resistencia variable que se registra en el medidor:

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ecuación 1}$$

Con este valor de R se procede a calcular la resistividad aparente con la fórmula de la ecuación de WENNER.

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad \text{Ecuación 2}$$

ρ = Resistividad promedio en ohmios por metro (Ω -m).

a = Distancia de separación entre electrodos.

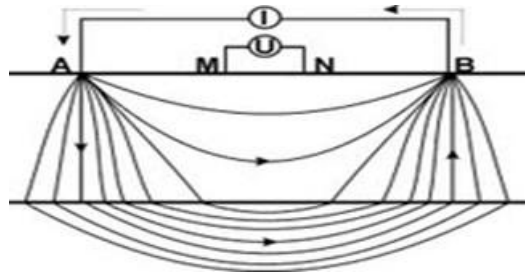
R = Lectura del telurómetro en ohmios (Ω).

π = 3,1415926...

1.5 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL DE WENNER.

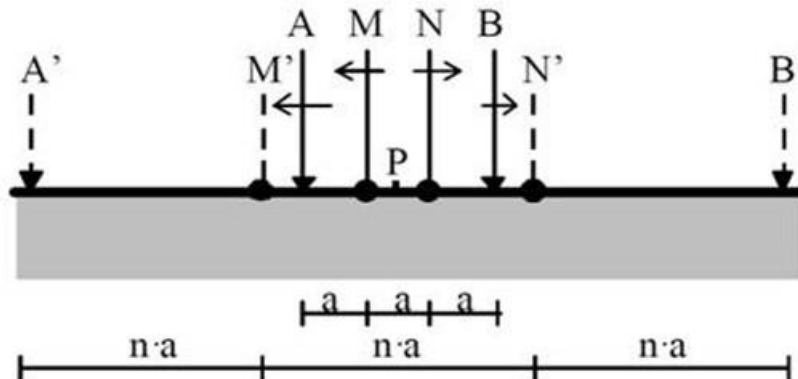
La finalidad del sondeo eléctrico vertical (SEV) es la determinación del número de capas del subsuelo, a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Se utiliza para determinar las variaciones de la resistividad con la profundidad.

ILUSTRACIÓN 2. Principio del SEV. A medida que A y B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas. (3)



La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectores “AB”. Si la distancia entre los electrodos “AB” aumenta, la corriente circula a mayor profundidad pero su densidad disminuye.

ILUSTRACIÓN 3. Sondeo Wenner. La distancia interelectródica pasa de “a” (AMNB) a “n·a” (A'M'N'B'). (2)



Cualquiera sea la configuración de electrodos empleada, el centro y el eje de medición se mantienen fijos mientras se aumenta la separación entre electrodos según la ILUSTRACIÓN 3.

Para la representación de los datos se muestra en ordenadas el valor de la resistividad aparente medida, “ ρ ”, en (Ω -m), y en abscisas el valor de a en metros para cada paso.

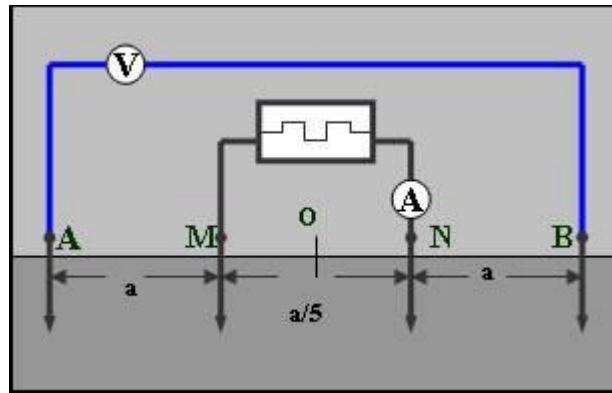
La configuración de Wenner presenta las siguientes ventajas:

- La interpretación de los valores de “R” medidos en terreno, es más directa en términos de resistividad aparente. Esto permite visualizar con facilidad la tendencia del gráfico de campo.
- Los instrumentos pueden ser de menor sensibilidad que los empleados con la configuración de Schlumberger, ya que a medida que se separan los electrodos de Corriente, también lo hacen los de potencial (3).

1.6 DISPOSITIVO SIMÉTRICO DE SCHLUMBERGER. (3)

En este dispositivo al igual que en el de Wenner, los electrodos de emisión y medición están situados en línea recta y ubicando un punto de referencia como se observa en la ILUSTRACIÓN 4; la variante de este dispositivo está en que la distancia entre los electrodos de medición M y N debe ser menor que un tercio de la distancia entre los electrodos de emisión A y B $r_{AB} \ll \frac{r_{MN}}{3}$, para mayor seguridad se adopta que la distancia entre los electrodos de medición M y N debe ser la quinta parte de la distancia entre los electrodos de emisión $r_{AB} \ll \frac{r_{MN}}{5}$.

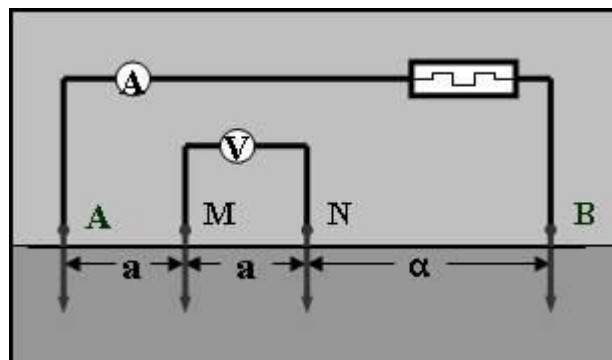
ILUSTRACIÓN 4. Esquema del dispositivo simétrico de Schlumberger. (3)



1.7 DISPOSITIVO RECTILÍNEO. (3)

En este dispositivo, llevamos uno de los electrodos de emisión (por ejemplo B) a una distancia tal que la diferencia de potencial creada por dicho electrodo entre los electrodos de medición sea pequeña en comparación con la diferencia de potencial creada por el segundo electrodo de emisión. En este caso, el campo del electrodo alejado puede despreciarse en la ILUSTRACIÓN 5. El dispositivo, en el que uno de los electrodos de emisión está alejado a gran distancia (traslado al infinito) se denomina trielectródico.

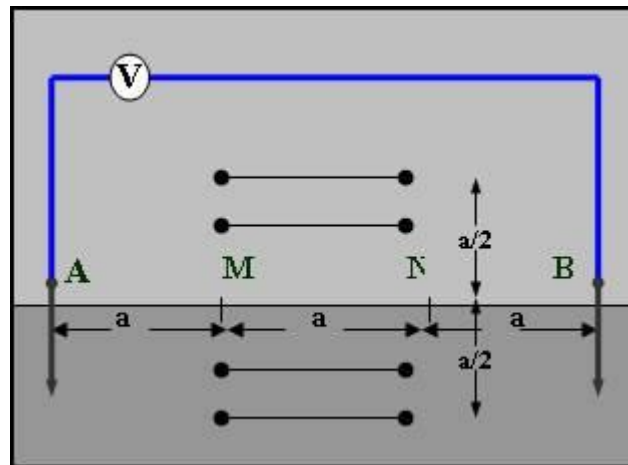
ILUSTRACIÓN 5. Esquema del dispositivo rectilíneo. (3)



1.8 MÉTODO NO RECTILÍNEO. (3)

En este método, los electrodos medición, se sitúan a lo largo de rectas paralelas a la línea AB, dentro de los límites de un cuadrado cuyo lado no debe exceder de $AB/3$. En la superficie limitada como se muestra en la ILUSTRACIÓN 6 de esta forma, el campo normal de los electrodos A y B es prácticamente homogéneo. El coeficiente del dispositivo aunque tenga los electrodos de medición fuera de la línea creada por A y B es el mismo de Wenner y el valor de la resistividad es, por supuesto, el mismo hallado para Wenner.

ILUSTRACIÓN 6. Esquema del dispositivo no rectilíneo. (3)



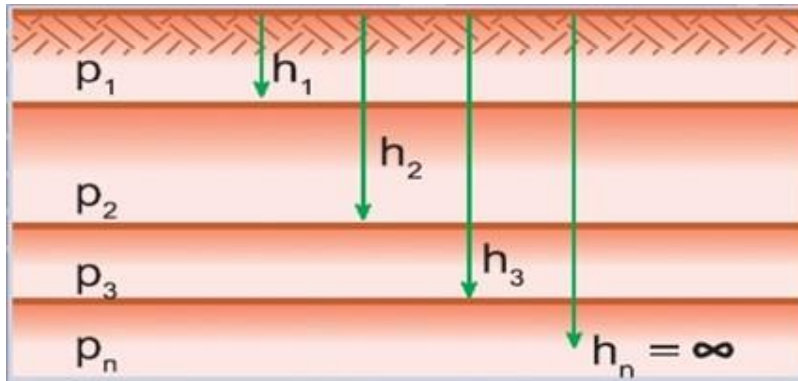
1.9 MÉTODOS DE CÁLCULO DE RESISTIVIDAD EN TERRENOS ESTRATIFICADOS.

BI-

Uno de los usos más importantes de las medidas de resistividad en suelos bi-estratificados, es que mediante ellas se pueden determinar la profundidad de la superficie de la primera capa, su densidad real como se muestra en la ILUSTRACIÓN 7, y su factor de reflexión, así como también características de la capa siguiente, de esta forma es posible modelar los suelos de acuerdo a sus características eléctricas.

Se es usada la configuración de Wenner, que consta de cuatro electrodos igualmente espaciados, y mediante estas se realizan diferentes medidas variando la separación de los electrodos para cada caso, es posible graficar las resistividades resultantes vs la separación de los electrodos, teniendo como consecuencia una curva de profundidad (4). Por ende, en la práctica, un terreno puede ser razonablemente representado por un modelo de estratos paralelos a la superficie del suelo, caracterizado cada uno de ellos por su espesor y un valor constante de resistividad, tal como lo muestra la ilustración.

ILUSTRACIÓN 7. Representación de un terreno estratificado. (4)



1.10 MÉTODO DE LA RESISTIVIDAD MEDIA.

Este criterio de interpretación, que se basa en la configuración de WENNER asume que la mayor parte de la corriente inyectada al suelo penetra hasta una profundidad igual a la separación “a” entre electrodos. Por tanto, la resistividad aparente medida corresponde a una “resistividad media” hasta una profundidad igual a esa separación.

El criterio anterior concluye que cuando se alcanza en profundidad un nuevo estrato del suelo, se produce un cambio en la curvatura del gráfico de la resistividad aparente (5).

1.11 MODELO DE SUELO DE DOS CAPAS. (6)

Un modelo de suelo de dos capas puede representarse por una capa superior de profundidad finita, por encima de una capa inferior de profundidad infinita. El cambio abrupto de la resistividad en las proximidades de cada capa de suelo puede describirse por medio del factor de reflexión K, definido como:

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

$\rho_1 \rightarrow$ Resistividad de la capa superior en $\Omega\cdot m$.

$\rho_2 \rightarrow$ Resistividad de la capa inferior en $\Omega\cdot m$.

En muchos casos, la representación de un electrodo de tierra basado en un modelo equivalente de dos capas es suficiente para diseñar un sistema seguro de puesta a tierra.

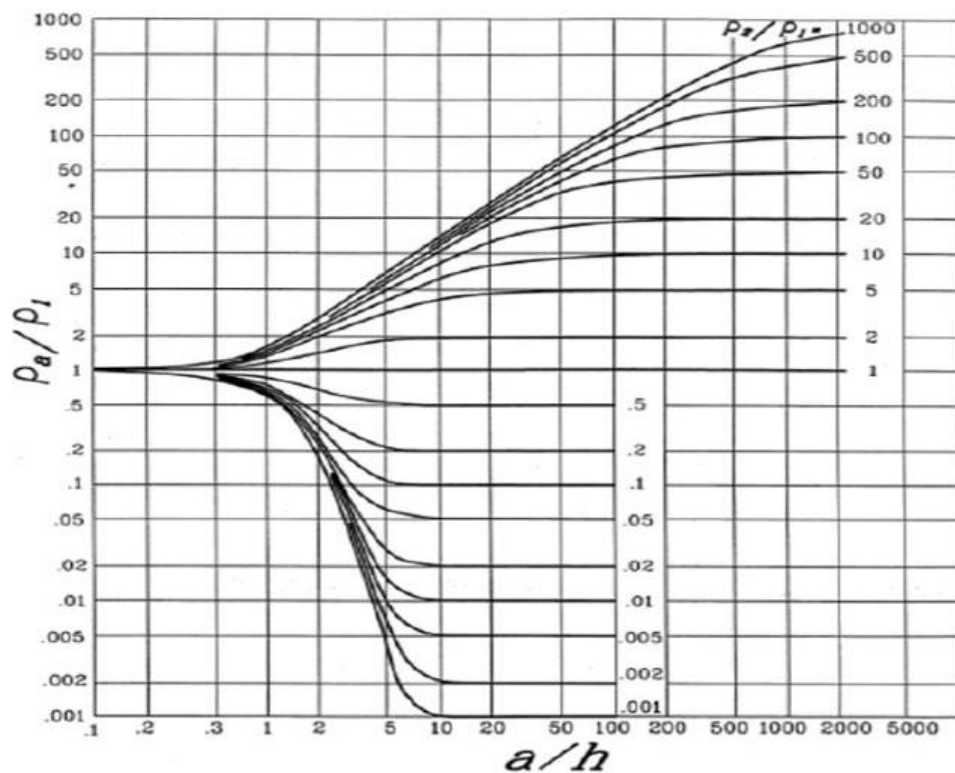
Un modelo de suelo de dos capas puede aproximarse empleando el método gráfico de Sunde que consiste en encontrar la profundidad de la primera capa de resistividad del suelo.

Los parámetros ρ_1 y ρ_2 se obtienen por inspección de las medidas de resistividad. Solamente H es obtenido por el método de Sunde, como sigue:

- Dibujar el gráfico ρ_a vs a .

- De la gráfica anterior se estiman ρ_1 y ρ_2 , extendiendo el gráfico en ambos extremos para obtener los valores de resistividad, si los datos de campo son insuficientes.
- Determinar ρ_2/ρ_1 y seleccionar una curva del gráfico de la ILUSTRACIÓN 8, o interpolar y dibujar una nueva curva en la ilustración.
- Seleccionar el valor de ρ_a/ρ_1 sobre el eje Y dentro de la región pendiente de la curva ρ_2/ρ_1 apropiada.
- Leer el valor correspondiente a/h sobre el eje X.
- Calcular ρ_a multiplicando el valor seleccionado ρ_a/ρ_1 por ρ_1 .
- Leer el espaciamiento de prueba correspondiente de la gráfica de ρ_a vs. a .
- Calcular la profundidad del nivel superior H usando la separación de prueba apropiada a .

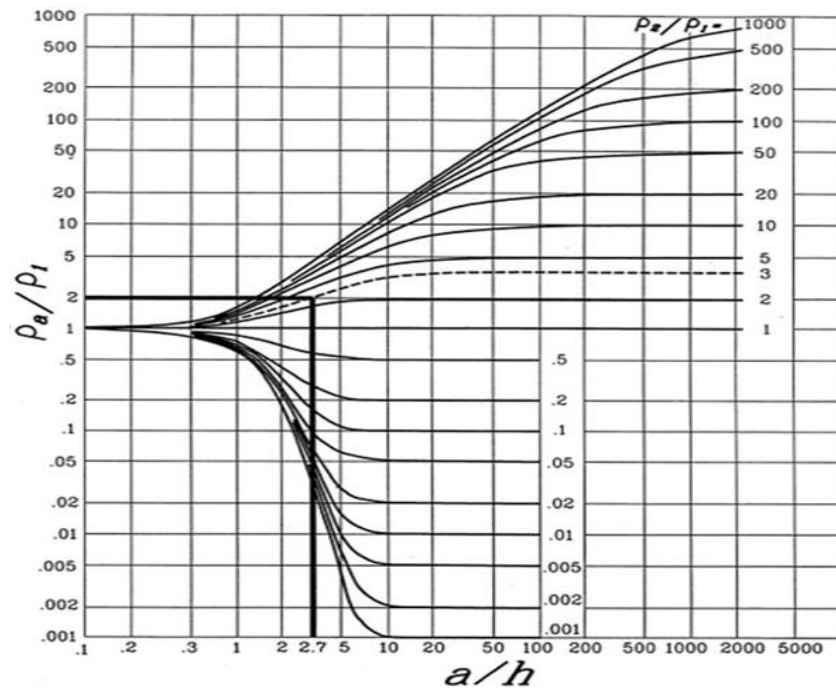
ILUSTRACIÓN 8. Curvas de Sunde. (6)



Ejemplo: asumiendo un $\rho_1 = 100\Omega\cdot m$ y $\rho_2 = 300\Omega\cdot m$ aplicar el modelo de suelo de 2 capas. Se determina $\rho_2 / \rho_1 = 300/100 = 3$ y se dibuja esta curva por extrapolación en la Gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 9).

- Se selecciona el valor de $\rho_a / \rho_1 = 2$ dentro de la pendiente de la curva apropiada $\rho_2 / \rho_1 = 3$ de la ILUSTRACIÓN 9.
- Se lee el espaciamiento de prueba correspondiente $a/h = 2,7$ (ILUSTRACIÓN 9).

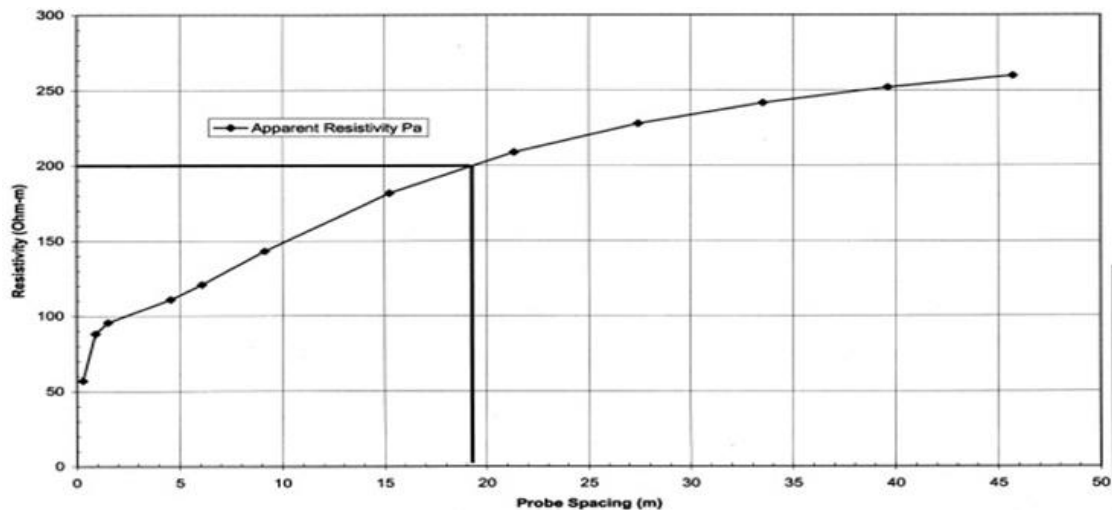
ILUSTRACIÓN 9. Curvas de Sunde.



f) Se calcula $\rho_a = (\rho_a / \rho_1) \cdot \rho_1 = 2 \cdot 100 \, \Omega\text{-m} = 200 \, \Omega\text{-m}$.

g) En la gráfica ρ_a vs a de la ILUSTRACIÓN 10 se lee para un $\rho_a = 200 \, \Omega\text{-m}$ el valor de a es 19m.

ILUSTRACIÓN 10. Perfil de resistividad. (6)



h) Se calcula la profundidad de la capa superior, usando la separación de prueba apropiada a .

$$h = \frac{a}{a/H} = \frac{19}{2,7} = 7\text{m}$$

2. CAPITULO 2

2.1 DEFINICIÓN DE RESISTENCIA A TIERRA.

La resistencia a tierra se puede definir como la resistencia que ofrece un sistema de tierra al paso de la corriente eléctrica. Este valor de resistencia depende de la resistividad del terreno, las características físicas del electrodo a tierra (diámetro, área, longitud, etc.), también de la longitud y el área de los conductores.

El valor de resistencia a tierra es la resistencia óhmica entre un conductor puesto a tierra y un punto de potencial a cero.

2.2 LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.

La resistencia de puesta a tierra o resistencia de dispersión de tierra se denomina generalmente como “la resistencia del suelo, o de una porción del suelo, al paso de una corriente de tipo eléctrico”.

En la actualidad se reconoce que el suelo es un conductor de corriente eléctrica, pero comparado con diferentes tipos de metales la conducción de corriente que ofrece el suelo es pobre.

Sin embargo, si el área del camino que toma la corriente es grande, la resistencia puede ser bastante baja y la tierra puede ser un camino de baja resistencia (2).

Las mediciones de resistencia de un sistema de puesta a tierra son hechas con finalidades básicas de uso:

- a. Obtener una resistencia eléctrica de bajo valor para derivar a tierra Fenómenos Eléctricos Transitorios, corrientes de fallas estáticas y parásitas; así como ruido eléctrico y de radio frecuencia.
- b. Mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites de seguridad de modo que las tensiones de paso o de toque no sean peligrosas para los humanos y/o animales.
- c. Proporcionar un camino de derivación a tierra de descargas atmosféricas, transitorios y de sobretensiones internas del sistema.
- d. Determinar la efectividad del sistema de puesta a tierra y las conexiones que son utilizadas en los sistemas eléctricos para proteger las personas y equipos eléctricos que dependen de las mismas.
- e. Permitir detectar la elevación de potencia del sistema de puesta a tierra, la seguridad de la conexión a tierra y la variación de la composición y estado físico del suelo (2).

La resistencia de puesta a tierra se entiende como la razón entre el potencial del sistema de puesta a tierra que se desea medir, con relación a un punto teóricamente ubicado en el infinito, respecto al que se desea medir, el cual se denomina tierra remota y la corriente que se hace fluir entre estos puntos. En la práctica se sabe que casi todo este potencial (cerca del 98%) se localiza a una distancia no muy lejana de la puesta a tierra a medir y

se puede considerar este punto aproximadamente como la tierra remota. Partiendo de esta simple teoría comienza la dificultad que representan las mediciones de la resistencia de puesta a tierra (2).

La impedancia de un sistema de puesta a tierra se reduce a su resistencia al no intervenir efectos inductivos y capacitivos más que para los frentes de ondas de corriente muy escarpados, de forma que en la práctica solamente se presentan efectos inductivos en el caso de conductores enterrados de grandes longitudes y capacitivos cuando se trata de terrenos rocosos, de resistividad demasiado alta.

2.3 MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A TIERRA.

Una vez que se construye un sistema de conexión a tierra, debe medirse la resistencia del mismo con la finalidad de comprobar que cumple con los valores exigidos. Por otro lado al verificar la integridad de un sistema de conexión a tierra, la resistencia a tierra es un indicador de cuan efectivo está el sistema para el retorno de las corrientes de falla.

La prueba de medición de la resistencia a tierra no da información alguna sobre la seguridad que pueda ofrecer un SPT bajo una condición de falla, especialmente con referencia a los voltajes peligrosos que puedan aparecer en la superficie del terreno.

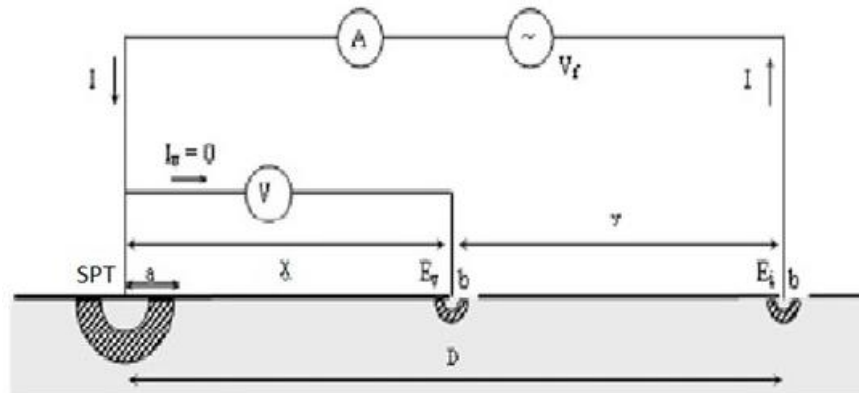
Aun cuando el valor de la resistencia a tierra esté por debajo de los valores requeridos, puede darse el caso de que no cumpla con los límites de voltajes permitidos para la seguridad del personal y los equipos.

Se puede decir Un bajo valor de resistencia a tierra no garantiza la seguridad del personal en el terreno sobre el sistema de conexión a tierra o en sus inmediaciones. Finalmente debido a los cambios que puedan ocurrir en el terreno y con fines de mantenimiento preventivo, se hace necesario medir periódicamente la resistencia a tierra para garantizar la adecuada conexión al terreno.

2.3.1 MÉTODO DE LA CAÍDA DE POTENCIAL.

El método más utilizado para la medición de la resistencia a tierra es el denominado "Método de la Caída de Potencial". Este método requiere dos electrodos auxiliares, una fuente de voltaje, voltímetro y amperímetro como se muestra en la ILUSTRACIÓN 11.

ILUSTRACIÓN 11. Principio de Medición de un sistema de puesta a tierra. (3)



Dónde:

SPT: Sistema de conexión a tierra al cual se le va a medir la resistencia

Ev: Electrodo auxiliar de voltaje

Ei: Electrodo auxiliar de corriente

V: voltímetro

A: Amperímetro

Vf: Fuente de alimentación

Se puede decir que la resistencia a tierra del sistema SPT está representada por la relación entre el voltaje medido en un punto remoto, teóricamente a una distancia infinita de SPT, y la corriente inyectada I . En la realidad ubicar un punto a una distancia infinita de SPT es imposible. Sin embargo para fines prácticos, y dentro del rango de exactitud de los instrumentos, es posible aproximarse al valor de voltaje “V” del sistema SPT, que representa el voltaje de SPT respecto a una referencia remota (7).

2.3.1.1 ANÁLISIS DEL MÉTODO.

Para analizar el método de medición se recurre nuevamente a los electrodos hemisféricos enterrados en un terreno homogéneo, y asumiendo que la distancia entre ellos es mucho mayor que sus radios.

La impedancia interna del voltímetro se considera de un valor elevado de tal forma que $I_v \ll I$. Por lo tanto el efecto de I_v sobre la medición se puede considerar despreciable. El sistema de conexión a tierra SPT es un electrodo hemisférico de radio a , y los electrodos auxiliares E_v , E_i tienen radio b .

Se asume que $a \gg b$. Bajo estas condiciones el voltaje medido por el voltímetro V será la diferencia de potencial entre ST y E_v . El voltaje respecto a una referencia remota de cada uno de estos electrodos es:

$$V_{st} = \frac{\rho \cdot l}{2\pi a} - \frac{\rho \cdot l}{2\pi D} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V_{EV} = \frac{\rho \cdot l}{2\pi x} - \frac{\rho \cdot l}{2\pi y} \quad \text{Ecuación 5}$$

El voltaje medido por el voltímetro es:

$$V = V_{st} - V_{EV} = \frac{\rho \cdot l}{2\pi} \left\{ \frac{1}{a} + \frac{1}{x} - \frac{1}{y} \right\} \quad \text{Ecuación 6}$$

La resistencia medida será:

$$R_m = \frac{\rho}{2\pi a} - \frac{\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{D} + \frac{1}{X} - \frac{1}{Y} \right\} \quad \text{Ecuación 7}$$

Se conoce que el valor verdadero de la resistencia del sistema SPT está determinada por:

$$R_v = \frac{\pi}{2\pi a} \quad \text{Ecuación 8}$$

El factor que se sustrae del valor verdadero en la resistencia medida R_m en la ecuación (9), es el error cometido en la medición. De esta forma el valor medido se puede expresar como la suma algebraica de dos factores: el valor verdadero R_v , y el error cometido en la medición R_e debido a la influencia del electrodo auxiliar de corriente E_i .

$$R_m = R_v - R_e \quad \text{Ecuación 9}$$

Si por algún medio se consigue anular R_e , el valor medido será igual al valor verdadero. Un primer análisis de la expresión (9) permite concluir que en la medida que las distancias D , x , y se incrementan, el valor medido se aproxima más al valor verdadero.

2.3.1.2 REGLA DEL 61,8 %.

El valor verdadero de la resistencia a tierra también puede obtenerse a partir de la resistencia medida si se encuentran las relaciones entre los valores x , y , D que anulen el error cometido, es decir:

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi} \left\{ \frac{1}{D} + \frac{1}{X} - \frac{1}{Y} \right\} = 0 \quad \text{Ecuación 10}$$

De la ecuación (9) se obtiene que para anular R_e deba cumplirse:

$$xy + Dy - Dx = 0 \quad \text{Ecuación 11}$$

Si los electrodos E_v y E_i están alineados se cumple que:

$$D = x + y \quad \text{Ecuación 12}$$

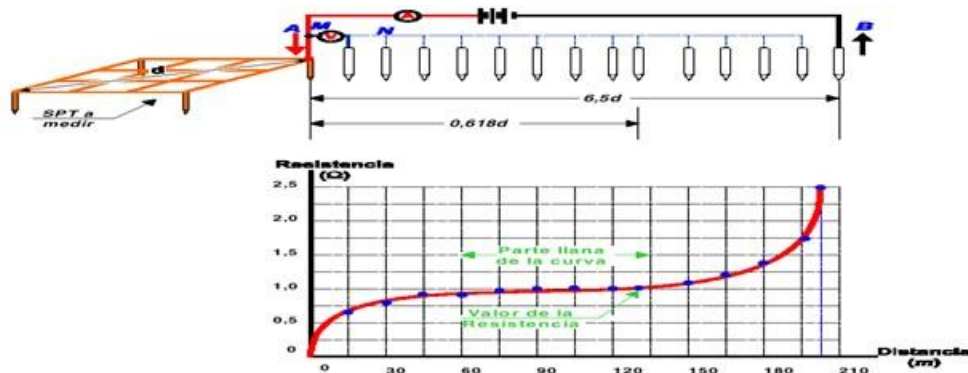
Despejando “ y ” de (11) y sustituyendo en (12) se obtiene la siguiente ecuación:

$$x^2 + Dx - D^2 = 0$$

Ecuación 13

Ecuación que tiene como solución $x = 0,618D$ y $x = -1,618D$. Esto significa que ubicando el electrodo auxiliar E_v a una distancia del 61,8 % de la distancia D , la resistencia medida es igual al valor verdadero de la resistencia del sistema SPT (7). La solución negativa de x no tiene interpretación dentro del contexto de ubicación de los electrodos: $D = x+y$.

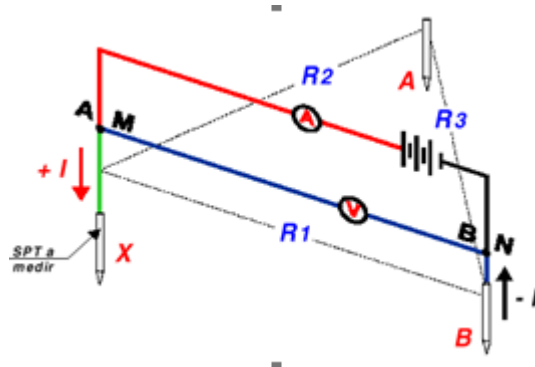
ILUSTRACIÓN 12. Método de la caída de potencial aplicando la regla del 61,8. (3)



2.4 MÉTODO DE TRIANGULACIÓN O DE LOS TRES PUNTOS. (3)

Este método adiciona dos electrodos auxiliares como se muestra en la ILUSTRACIÓN 13. Como se puede apreciar los electrodos se colocan formando un triángulo equilátero de lados iguales y colocados a una distancia mínima de 30 m, en realidad esta distancia puede tener otro valor, pero debe ser tal que asegure que no haya influencia de los electrodos entre sí.

ILUSTRACIÓN 13. Método de triangulación o de los tres puntos. (3)



2.4.1 MÉTODO DE LA INTERSECCIÓN DE CURVAS. (3)

Este método se basa fundamentalmente en la regla del 61,8%, el cual fue presentado para la medición de grandes sistemas de puesta a tierra (iguales o mayores a 20000 m²) este método resuelve dos problemas que se presentan en la práctica:

- La distancia a la cual deben ser ubicados los electrodos de emisión y medición auxiliares, puesto que al utilizar el método de la caída de potencial con aplicación de la regla del 61,8% la ubicación del electrodo de emisión a 6,5 veces la máxima longitud del sistema de puesta a tierra a medir implica distancias de hasta 500 o más metros, casos en los que es difícil medir.
- La dificultad que se presenta por la acción del efecto mutuo (superposición de zonas de influencia) que se presenta por la utilización de grandes distancias para los electrodos auxiliares.

Para medir la resistencia de puesta a tierra de cualquier sistema es necesario cuantificar las distancias a las cuales se ubicarán los electrodos auxiliares a partir de un punto específico; es decir se debe establecer un punto de origen para las mediciones. A primera vista resulta lógico pensar en una coincidencia entre el centro geométrico y eléctrico de un sistema de puesta a tierra, esto coincide para sistemas simples como el de un solo electrodo, o en algunos casos esto puede ser cierto pero es apenas una casualidad. Las situaciones reales de mallas de puesta a tierra complejas, con múltiples conexiones, tubos, electrodos y conductores, nos puede brindar una geometría de contorno regular (rectangular, triangular, etc.), pero no se comporta eléctricamente sobre un punto de vista de conexión central como un figura definida.

Para resolver el problema de la determinación del centro eléctrico del sistema de puesta a tierra a medir se puede implementar un software adecuado para tal fin, al cual se le deben suministrar los datos geométricos del sistema de puesta a tierra y la resistividad específica del terreno donde se aplica dicho sistema de puesta a tierra; sin embargo en el documento G.F. Tagg¹ presentado por la IEEE en 1969, elimina la necesidad de la determinación del centro eléctrico, es decir, elimina la necesidad de extensos cálculos y simplifica la medición al necesitar menores distancias en la ubicación de los electrodos auxiliares.

El método de la intersección de curvas consiste en obtener varias curvas de resistencia de puesta a tierra, colocando el electrodo de emisión B a varias distancias y asumiendo varias posiciones para el centro eléctrico del sistema de puesta a tierra bajo prueba, y a partir de estas curvas por medio de un procedimiento se obtiene la resistencia del sistema de puesta a tierra y la posición exacta del centro de la malla.

Supongamos que todas las mediciones son hechas a partir de un punto de inicio O , la distancia al electrodo de emisión B es C , y P es la distancia variable del electrodo de potencial N .

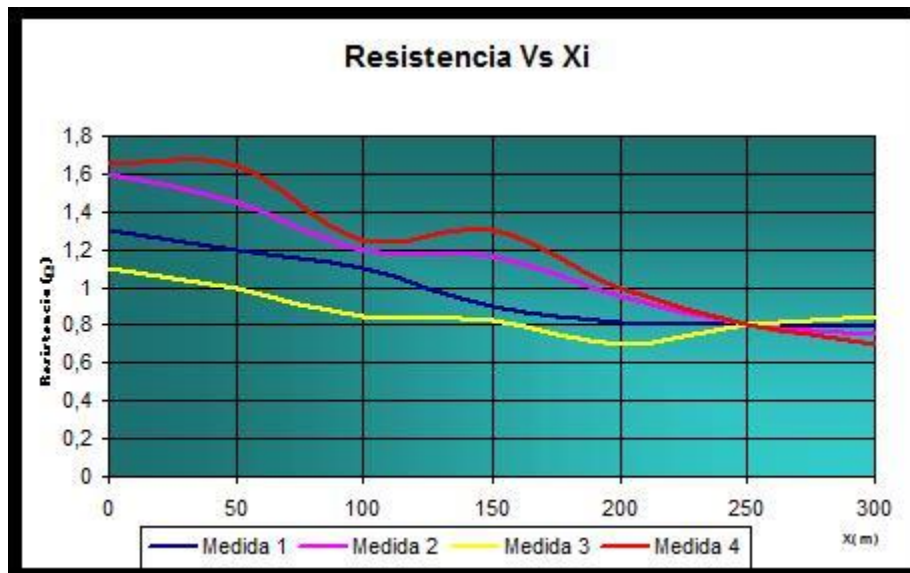
Se supone el centro eléctrico del sistema de puesta a tierra en D , a una distancia x de O , luego la distancia del centro al electrodo de emisión es $C + x$, y el valor real de la resistencia se obtiene cuando el electrodo de potencial se coloca a $0,618(C + x)$ de D , o

¹ TAGG G. F. "Measurement of the resistance of An Earth – Electrode covering a large area" IEEE Proceedings, Vol. 116, Mar. 1969.

sea que el valor de D medido desde O es $0,618(C + x) - x$. Para obtener la familia de curvas inicialmente se deben desarrollar los siguientes pasos:

- Determine el punto O , el cual será el punto de unión entre el telurómetro y el sistema de puesta a tierra bajo prueba.
- Basándose en las dimensiones del sistema de puesta a tierra, se determina la ubicación del electrodo de emisión C , para cada una de las curvas que se quieren obtener. Se deben obtener como mínimo 4 curvas.
- Con base en la máxima distancia C a que se colocará el electrodo de emisión se determina la distancia de x como un porcentaje de C : 20%, 40%, 60%, 80% y 100%
- Teniendo ya los valores de x y C aplicamos la fórmula $D_V = 0.618(C + x) - x$ con la cual obtenemos las distancias (D_V) a las cuales debe estar ubicado el electrodo de medición de voltaje.
- Al obtener los valores de resistencia de puesta a tierra con el telurómetro, se trazan las gráficas $R_{(Leida)}$ vs. X_i tal como lo muestra la ILUSTRACIÓN 14.

ILUSTRACIÓN 14. Método de intersección de curvas. (3)



3. CAPITULO 3

3.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

Para el desarrollo del trabajo y la aplicación del método de WENNER se escogió un terreno ubicado en la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA el cual se encuentra al frente del edificio de confecciones y soldadura.

ILUSTRACIÓN 15. Terreno de medición de resistividad 1, 2, 3.



3.2 MEDICIONES EN EL TERRENO.

En el anexo A se mostrara los resultados obtenidos de la medición de resistividad por el método de WENNER.

3.2.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANEXO A POR EL MODELO DE SUELO DE DOS CAPAS.

3.2.1.1 Resultados obtenidos de la resistividad 1.

ILUSTRACIÓN 16. Perfil de resistividad 1 por el modelo de suelo de dos capas.



Solución:

$\rho_1 = 220,54 \Omega\text{-m}$; $h = 0,75\text{m}$

$\rho_2 = 175,93 \Omega\text{-m}$

3.2.1.2 Resultados obtenidos de la resistividad 2.

ILUSTRACIÓN 17. Perfil de resistividad 2 por el modelo de suelo de dos capas.



Solución:

$\rho_1 = 358,14 \Omega\text{-m}$; $h = 1,1\text{m}$

$\rho_2 = 158,34 \Omega\text{-m}$

3.2.1.3 Resultados obtenidos de la resistividad 3.

ILUSTRACIÓN 18. Perfil de resistividad 3 por el modelo de suelo de dos capas.



Solución:

$\rho_1 = 348,72 \Omega\text{-m}$; $h = 0,75\text{m}$

$\rho_2 = 294,68 \Omega\text{-m}$

3.3 OBSERVACIONES

Ver el anexo B para observar el procedimiento del modelo de suelo de dos capas para las resistividades 1, 2, 3.

3.4 CONCLUSIONES

- Los suelos de la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA Municipio de Dosquebradas del Departamento de Risaralda, no pueden ser considerados suelos homogéneos, porque las mediciones de la resistividad aparente tienen amplias variaciones a diferentes profundidades de evaluación.
- La utilización del método de WENNER tiene como finalidad encontrar un perfil de resistividad del terreno, que al ser interpretado permite ubicar puntos óptimos para la construcción de un SPT.
- Se observa que en la utilización del modelo de dos capas solo se puede obtener el valor de profundidad de la primera capa, lo que hace que este modelo sea impreciso y arroje resultados desfavorables.
- El estudio de los perfiles de resistividad 1, 2, 3 permiten obtener información necesaria para la elaboración de posibles proyectos de SPT en la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA.

4. CAPITULO 4

4.1 INFORMACION DE LOS SPT PARA LA INSTITUCIÓN NOMBRADA.

Se realizó un trabajo de campo en la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA, el cual incluye los siguientes puntos:

Registro fotográfico: Se hicieron registros fotográficos de los elementos que constituyen el sistema de puesta a tierra de cada edificio, para destacar las anomalías en este sistema, como también las características propias de cada instalación.

Obtención del perfil de resistividad del suelo: Se ejecutó el procedimiento establecido como oficial según norma RETIE y el estándar IEEE 80, para la obtención del perfil de resistividad del suelo, con el fin de determinar el valor de resistividad del suelo, el cual sería utilizado para el cálculo del sistema de puesta a tierra.

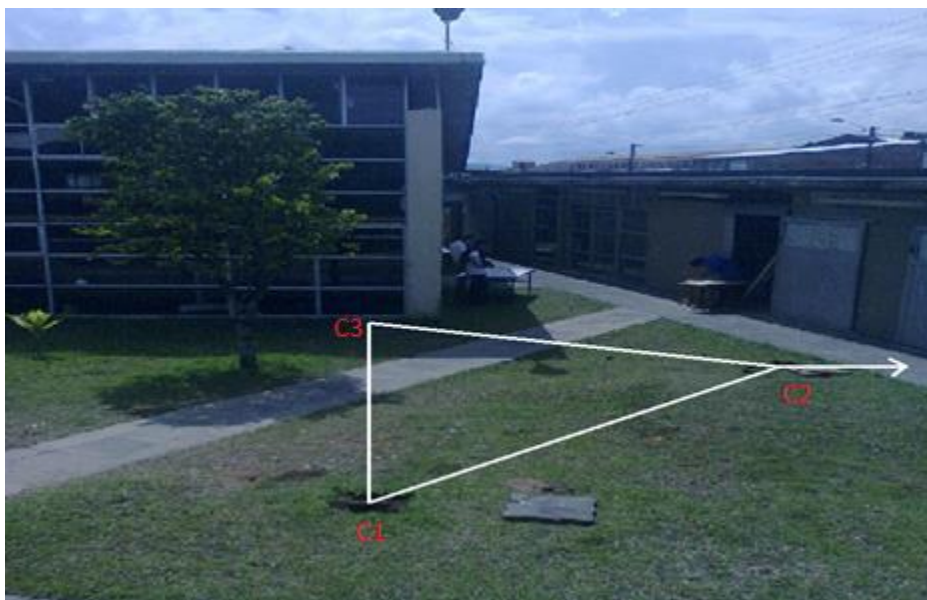
Medida del valor de la resistencia de puesta a tierra: Se ejecutó el procedimiento oficial según norma RETIE y el estándar IEEE 80, para la obtención del valor de la resistencia de puesta a tierra del sistema.

Con la información que se obtuvo para cada sistema eléctrico, correspondiente a la institución, se hizo un diagnóstico, y se establecieron algunas recomendaciones teniendo en cuenta las normas correspondientes para cada caso en particular.

4.2 SITIO DE ESTUDIO: SUBESTACIÓN SENA.

Ubicación: la malla del SPT se encuentra ubicada en todo el centro de las áreas de soldadura y confecciones.

ILUSTRACIÓN 19. Sitio en el cual se construyó la malla para la subestación.



Estudios realizados en el sitio:

Medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra. Se utilizó el método del 62% para la medida de la resistencia de puesta a tierra.

El valor oficial de la resistencia de puesta a tierra: $0,6 \Omega$

Se anexa protocolo de la medida de la resistencia de la malla. (Anexo C)

Medida de la resistividad del terreno: Se anexa protocolo del perfil de resistividad del sitio. (Ver Anexo A).

ILUSTRACIÓN 20. Conexiones entre el conductor y los electrodos que conforman la malla de la subestación.



4.2.1 Observaciones y recomendaciones:

- El valor de la resistencia de la malla es muy baja debido a que se encuentra interconectada con otros SPT de la institución.
- El sitio que se escogió para la construcción viola las normas de seguridad para seres vivos, puesto que en el momento de una descarga, sobre esta (superficie del suelo), se pueden generar potenciales peligrosos. De acuerdo a lo anterior se puede observar en la ILUSTRACIÓN 19 que el área utilizada es un paso obligado de personas (3).
- Se recomienda hacer un nuevo diseño del sistema de puesta a tierra, teniendo en cuenta los siguientes puntos:
 - a. Establecer un punto común para los conductores conectados a tierra (barraje para el neutro y barraje para tierra) y el conductor del electrodo de tierra [NEC-250-24(a) (4)].
 - b. Tensión de Contacto.
 - c. Tensión de paso.
 - d. Perfil de resistividad del terreno.
 - e. Ubicación apropiada para la malla, que no presente riesgos para las personas.
 - f. Valor de la resistencia de puesta a tierra: Menor o igual 3Ω .

- Se recomienda aplicar otro método de medición de resistencia para precisar el verdadero valor de la resistencia del SPT de la malla.
- Se observa en forma general que la conexión entre el conductor y los electrodos que forman la malla es la adecuada ya que fue realizada con soldadura exotérmica, como lo estipula el reglamento RETIE [art 15.1 (c)] y la norma NTC 2050 [art 250-115].
- El conductor principal actual de la malla es adecuado y se encuentra dimensionado de acuerdo al sistema de potencia actual, como lo indica la norma NTC 2050 (tabla 250.95).
- Realizar un mantenimiento preventivo habitual a las cajas de inspección de los electrodos que conforman la malla del SPT, para tener accesibilidad a los electrodos al momento de una inspección o medición como lo establece el reglamento RETIE [art 15.1 (d)].

4.3 SITIO DE ESTUDIO: CANCHA DE FUTBOL (MALLA CANCHA).

Ubicación: la malla del SPT de la ILUSTRACIÓN 21, se encuentra ubicada al oeste de la cancha de futbol y al sur del edificio de guaduas.

ILUSTRACIÓN 21. Sitio en el cual se construyó la malla para la cancha.



Estudios realizados en el sitio:

- Medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra. Se utilizó el método del 62% para la medida de la resistencia de puesta a tierra.
 - a. El valor oficial de la resistencia de puesta a tierra: $7,3 \Omega$
 - b. Se anexa protocolo de la medida de la resistencia de la malla. (Ver Anexo C).

- Medida de la resistividad del terreno: Se anexa protocolo del perfil de resistividad del sitio. (Ver Anexo A).

ILUSTRACIÓN 22. Conexiones entre el conductor y los electrodos que conforman la malla de la cancha tomados de dos puntos de la ILUSTRACIÓN 21.



4.3.1 Observaciones y recomendaciones:

- El valor de la resistencia de la malla es muy alta debido a que la conexión entre el conductor y los electrodos fueron realizados con conectores que no cumplen la norma establecida por la IEEE Std 80-1988.
- Se recomienda que la conexión entre el conductor y los electrodos que forman la malla de SPT sea hecha con soldadura exotérmica como se menciona en la norma NTC 2050 [art 250-115] y el reglamento RETIE [art 15.1 (c)], ya que esto mejoraría la unión entre el conductor y electrodo de puesta a tierra.
- El conductor principal actual de la malla es el inadecuado y no se encuentra dimensionado de acuerdo al sistema de potencia actual, comprobado por la inspección visual.
- Se recomienda realizar cajas de inspección de 30x30cm a los electrodos lo cual permitirá realizar mediciones e inspecciones a los electrodos del SPT como lo sugiere el reglamento RETIE [art 15.1 (d)].
- Interconectar la malla SPT de la cancha con la malla SPT de la subestación, lo cual ayudaría a que disminuya la resistencia de puesta a tierra como lo establece el reglamento RETIE [art 15.1 (g)].

4.4 SITIO DE ESTUDIO: CANCHA DE MICROFUTBOL.

Ubicación: El SPT se encuentra ubicado en un costado de la cancha de microfútbol al lado derecho del parqueadero. La caja de inspección se muestra en la siguiente ILUSTRACIÓN 23.

ILUSTRACIÓN 23. Sitio donde se encuentra ubicado el SPT.



Estudios realizados en el sitio:

- Medida de la resistencia del sistema de puesta a tierra. Se utilizó el método del 62% para la medida de la resistencia de puesta a tierra.
- El valor oficial de la resistencia de puesta a tierra: $1,8 \Omega$
- Medida de la resistividad del terreno: Se anexa protocolo del perfil de resistividad del sitio. (Ver Anexo A).

4.4.1 Observaciones y recomendaciones:

- La medida de la resistencia del SPT fue realizada con el telurómetro marca SEW (chino) perteneciente a la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA el cual no presenta certificado de calibración, se recomienda realizar la medición con el telurómetro (DIGITAL GROUND RESISTENTE TESTER) de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA el cual presenta certificado de calibración permitiendo obtener mayor veracidad de los datos arrojados por dicho equipo.
- La conexión del conductor con el electrodo es la inadecuada ya que está hecha con un conector que no cumple la norma establecida por la IEEE Std 80-1988.
- Se recomienda que la conexión entre el conductor y el electrodo que forma el SPT sea hecha con soldadura exotérmica ya que esto mejoraría la resistencia del SPT.

- Se recomienda cambiar el conductor del SPT ya que se encuentra deteriorado por corrosión comprobado por la inspección visual.
- Se puede observar que el diseño de puesta a tierra no cumple con ninguna norma.
- Se recomienda hacer un nuevo diseño del sistema de puesta a tierra, teniendo en cuenta los siguientes puntos:
 - Establecer un punto común para los conductores conectados a tierra (barraje para el neutro y barraje para tierra) y el conductor del electrodo de tierra [NEC-250-24(a) (4)].
 - Tensión de Contacto.
 - Tensión de paso.
 - Perfil de resistividad del terreno.
 - Ubicación apropiada para el SPT, que no presente riesgos para las personas.
 - Valor de la resistencia de puesta a tierra: Menor o igual 20Ω establecido por el reglamento como es argumentado por el reglamento RETIE [art 15].

4.5 CONCLUSIONES.

- Los SPT tienen una importancia vital de dar seguridad a los seres humanos, y se hace mediante una conexión que permite proteger el equipo eléctrico o electrónico, ya que de imprevisto pueden surgir descargas atmosféricas, sobrecargas o interferencias que dañan severamente al ser humano y a los equipos eléctricos o electrónicos.
- Las condiciones ambientales pueden deteriorar el SPT con el tiempo, por lo que se debe realizar un monitoreo periódico para verificar su estado, y cerciorarse que su valor de resistencia de puesta a tierra sea el deseado; así mismo las condiciones ambientales modifican el valor de resistencia de la puesta a tierra.
- En un SPT el calibre del conductor que se utilice debe de ser el adecuado para poder soportar las altas corrientes de falla que podrían circular por dicho conductor. Para determinar el calibre de este conductor se tiene que tomar en cuenta las normas y reglamentos oficiales para instalaciones eléctricas (RETIE, NTC 2050), ya que en esta se mencionan los calibres adecuados para cada tipo de instalación de puesta a tierra.

5. CONCLUSIONES

Resistividad del suelo.

- Con los resultados obtenidos en el anexo B por el modelo de suelo de dos capas se puede concluir que los suelos de la respectiva institución son heterogéneos ya que las profundidades obtenidas para las primeras capas de suelo no superan una proporción considerada de profundidad.
- Los suelos de la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA Municipio de Dosquebradas del Departamento de Risaralda, no pueden ser considerados suelos homogéneos, porque las mediciones de la resistividad aparente tienen amplias variaciones a diferentes profundidades de evaluación.
- La utilización del método de WENNER tiene como finalidad encontrar un perfil de resistividad del terreno, que al ser interpretado permite ubicar puntos óptimos para la construcción de un SPT.
- Se observa que en la utilización del modelo de dos capas solo se puede obtener el valor de profundidad de la primera capa, lo que hace que este modelo sea impreciso y arroje resultados desfavorables.
- El estudio de los perfiles de resistividad 1, 2, 3 permiten obtener información necesaria para la elaboración de posibles proyectos de SPT en la INSTITUCIÓN DE DISEÑO E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA INDUSTRIAL SENA.

Sistemas de puesta a tierra.

- Se puede concluir que los resultados obtenidos del anexo C de la resistencia de puesta a tierra de la malla de la subestación de la institución donde se realizó el estudio, no son los correctos ya que, la distancia necesaria para realizar el método de caída de potencial era muy amplia y el espacio de la institución no era suficiente, debido a que, en sus alrededores se encuentran edificaciones, pero de igual manera se utilizó dicho método con una distancia diferente a la necesaria para este.
- Los SPT tienen una importancia vital de dar seguridad a los seres humanos, y se hace mediante una conexión que permite proteger el equipo eléctrico o electrónico, ya que de imprevisto pueden surgir descargas atmosféricas, sobrecargas o interferencias que dañan severamente al ser humano y a los equipos eléctricos o electrónicos.
- Las condiciones ambientales pueden deteriorar el SPT con el tiempo, por lo que se debe realizar un monitoreo periódico para verificar su estado, y cerciorarse que

su valor de resistencia de puesta a tierra sea el deseado; así mismo las condiciones ambientales modifican el valor de resistencia de la puesta a tierra.

- En un SPT el calibre del conductor que se utilice debe de ser el adecuado para poder soportar las altas corrientes de falla que podrían circular por dicho conductor. Para determinar el calibre de este conductor se tiene que tomar en cuenta las normas y reglamentos oficiales para instalaciones eléctricas (RETIE, NTC 2050), ya que en esta se mencionan los calibres adecuados para cada tipo de instalación de puesta a tierra.

6. EQUIPO UTILIZADO EN EL ESTUDIO.

El equipo utilizado para realizar el estudio de los sistemas de puesta a tierra, es:

- DIGITAL GROUND RESISTENTE TESTER
- Fabricante: AEMC® Instruments
- Modelo: 4500
- Serie: 12G36572

ILUSTRACIÓN 24. Detalles del equipo AEMC 4500 y accesorios para la medición de resistencia de puesta a tierra.



Este equipo fue asignado al programa de Tecnología eléctrica, por parte de la Universidad Tecnológica de Pereira, para que desarrollara específicamente el estudio de los sistemas de puesta a tierra.

Para iniciar el trabajo se hizo necesario verificar el estado de calibración del equipo, para tal efecto se envió a el laboratorio de calibración “Sistemas e Instrumentación S.A”, compañía que asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los patrones de referencia utilizados en las mediciones de verificación de equipos, con los patrones “National Institute of Standard and technology” (NIST).

Además de la calibración del equipo se hizo necesario establecer el manual de procedimientos técnicos para ejecutar cada prueba geoelectrica, este trabajo se logró a través de la asistencia a varios seminarios y contactos con autoridades nacionales en la materia.

Como resultado de todo este trabajo de investigación y capacitación se dirigió un proyecto de grado de dos estudiantes de la facultad de Ingeniería Eléctrica, el cual permitió establecer toda la documentación necesaria para acreditar ante la SIC- Súper Intendencia de Industria y Comercio, el LABORATORIO DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA., en este documento se consignaron todos los procedimientos técnicos y administrativos para realizar cualquier prueba geoelectrica que conduzca a medir la resistividad del suelo y evaluar la resistencia de puesta a tierra de un sistema eléctrico, con miras a ofrecer un servicio a las empresas de la región y compañías eléctricas como un soporte de nuestra entidad a nuestro entorno.

De acuerdo a lo inmediatamente escrito, todas las pruebas geoelectricas realizadas que se hicieron en el desarrollo de este trabajo, cumplieron con las normas y los estándares para la ejecución de las mismas.

Con respecto a los equipos auxiliares, se utilizaron los siguientes elementos para realizar las pruebas geoelectricas: Ver (ILUSTRACIÓN 24 e ILUSTRACIÓN 25).

- Electrodo de cobre – cobre de 5/8" x 0,5 m.
- Cable tipo vehículo calibre 14 AWG, el cual se utilizó para cablear los electrodos que se ubican en el terreno y el telurómetro.
- Cintra métrica.
- Maceta.

ILUSTRACIÓN 25. Equipo auxiliar para realizar pruebas.



7. GLOSARIO.

ALTO RIESGO: Entiéndase como ALTO RIESGO aquel riesgo cuya frecuencia esperada de ocurrencia y gravedad de sus efectos puedan comprometer fisiológicamente el cuerpo humano, produciendo efectos como quemaduras, impactos, paro cardíaco, fibrilación; u otros efectos físicos que afectan el entorno de la instalación eléctrica, como contaminación, incendio o explosión. La condición de ALTO RIESGO se puede presentar por:

Deficiencias en la instalación eléctrica.
Práctica indebida de la electricidad.

CARGA: La potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito.

CONTACTO ELÉCTRICO: Acción de unión de dos elementos con el fin de cerrar un circuito. Puede ser de frotamiento, de rodillo, líquido o de presión.

CONTACTO INDIRECTO: Es el contacto de personas o animales con elementos puestos accidentalmente bajo tensión o el contacto con cualquier parte activa a través de un medio conductor.

CORROSIÓN: Ataque a una materia y destrucción progresiva de la misma, mediante una acción química o electroquímica o bacteriana.

ELECTRODO DE PUESTA A TIERRA: Es el conductor o conjunto de conductores enterrados que sirven para establecer una conexión con el suelo.

EQUIPOTENCIALIZAR: Es el proceso, práctica o acción de conectar partes conductivas de las instalaciones, equipos o sistemas entre sí o a un sistema de puesta a tierra, mediante una baja impedancia, para que la diferencia de potencial sea mínima entre los puntos interconectados.

INSPECCIÓN: Conjunto de actividades tales como medir, examinar, ensayar o comparar con requisitos establecidos, una o varias características de un producto o instalación eléctrica, para determinar su conformidad.

PUESTA A TIERRA: Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

RETIE O Retie: Acrónimo del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas adoptado por Colombia.

RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA: Es la relación entre el potencial del sistema de puesta a tierra a medir, respecto a una tierra remota y la corriente que fluye entre estos puntos.

RESISTENCIA DE TIERRA: Es la resistencia que ofrece el terreno hacia la corriente en un sistema de puesta a tierra, esta resistencia depende de la resistividad del terreno y área de los conductores.

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT): Conjunto de elementos conductores de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones ni fusibles, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

SOBRECARGA: Funcionamiento de un elemento excediendo su capacidad nominal.

SOBRETENSIÓN: Tensión anormal existente entre dos puntos de una instalación eléctrica, superior a la tensión máxima de operación normal de un dispositivo, equipo o sistema.

TENSIÓN: La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio; un error frecuente es hablar de “voltaje”.

TENSIÓN A TIERRA: Para circuitos puestos a tierra, la tensión entre un conductor dado y el conductor del circuito puesto a tierra o a la puesta a tierra; para circuitos no puestos a tierra, la mayor tensión entre un conductor dado y algún otro conductor del circuito.

TENSIÓN DE CONTACTO: Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre una estructura metálica puesta a tierra y un punto de la superficie del terreno a una distancia de un metro. Esta distancia horizontal es equivalente a la máxima que se puede alcanzar al extender un brazo.

TENSIÓN DE PASO: Diferencia de potencial que durante una falla se presenta entre dos puntos de la superficie del terreno, separados por una distancia de un paso (aproximadamente un metro).

TIERRA (Ground o earth): Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a conexiones con tierra. En temas eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. El término “masa” sólo debe utilizarse para aquellos casos en que no es el suelo, como en los aviones, los barcos y los carros (3).

TIERRA REMOTA: También denominada Tierra de Referencia, es el lugar o la zona de mínima resistencia, más próxima del suelo subyacente a una instalación eléctrica o a una puesta a tierra, respecto de las cuales se le atribuye por convención el Potencial cero (2).

8. BIBLIOGRAFIA

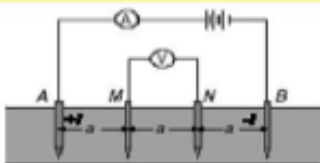
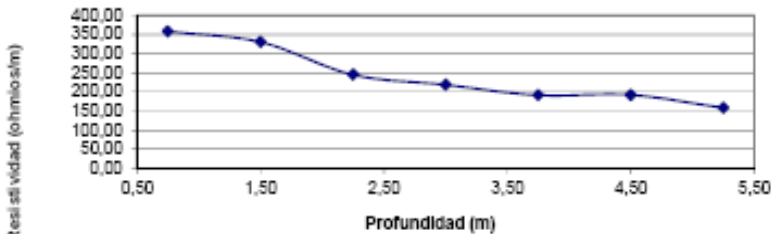
1. **GOMEZ Ruelas.** *SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA; TEORÍA, DISEÑO, MEDICIÓN y MANTENIMIENTO; Mediciones de Resistividad Para Diseño.* León, Guanajuato. MÉXICO. : s.n.
2. **VALENCIA Cardenas, Juan David y GARCIA Galvis, Esteban.** *MANUAL PARA LA INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE RESISTIVIDAD OBTENIDO AL REALIZAR EL ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO A PARTIR DE LAS CONFIGURACIONES DEL MÉTODO DE WENNER.* Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
3. **SANZ Alzate, Jorge Humberto.** *ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.* Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, 2003.
4. **LONGATT Gonzales, Francisco.** *Sistemas de Puesta a Tierra y Protección Contra Descargas Atmosféricas.*
.<http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=163>. [En línea]
5. **F. Ortuondo, Pedro.** *MANUAL PARA EL PROYECTO Y ANALISIS DE PUESTAS A TIERRA.* *<http://es.scribd.com/doc/74622061/Manual-Resistividad-Cap7>. [En línea]*
6. ANSI / IEEE Standard 80-2000 Guide for Safety in AC Substations Grounding.(revisión de la IEEE Std 80-1986).
7. **VALVERTH Chavez, Rolando Darío.** *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RESISTENCIA EN LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA.* San Carlos : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004.

9. ANEXO A (Estudios de resistividad del suelo).

RESISTIVIDAD 1.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA																							
Laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra																							
Facultad de Tecnología - Programa de Tecnología Eléctrica																							
Estudio de Resistividad del suelo																							
Datos del sitio				Condiciones del suelo																			
Fecha de medición: 12 Septiembre de 2012				Color del suelo: Café marron																			
Empresa: SENA				Tipo de terreno: Humedo																			
Ciudad: Dosquebradas				Último día lluvioso: 10/10/2012																			
Ubicación: Centro de diseño e innovación tecnológica				Temperatura: 30																			
Departamento: Risaralda				pH:																			
Datos del equipo de medición				Accesorios de medición																			
Marca: AEMC Instruments				Electrodos: Cobre																			
Frecuencia: 128 Hz				Tipo de cable: 14 AWG Cable																			
Método de medición: WENNER				Observaciones																			
				Norma de referencia: IEEE81 STD91																			
				Responsable de la medición:																			
				Ing. Jorge Humberto Sanz A - M.P. RS2050563																			
Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos a (m)	Corriente de prueba (mA)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)																	
N-S	0,75	1	10	20	35,1	220,54																	
	1,50	2	2	20	18,3	229,96																	
	2,25	3	2	20	11,4	214,88																	
	3,00	4	2	20	8,5	213,63																	
	3,75	5	2	20	6,5	204,20																	
	4,50	6	2	20	4,9	184,73																	
	5,25	7	2	20	4	175,93																	
	6,00	8	2	20	3,6	180,96																	
E-O	0,75	1	10	200																			
	1,50	2	10	200																			
	2,25	3	10	200																			
	3,00	4	10	200																			
	3,75	5	10	200																			
	4,50	6	10	200																			
	5,25	7	10	200																			
	6,00	8																					
Perfil de resistividad del terreno						Valores promedios <table border="1"> <thead> <tr> <th>Profundidad de exploración (m)</th> <th>Resistividad ($\Omega \cdot m$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,75</td><td>220,54</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>229,96</td></tr> <tr><td>2,25</td><td>214,88</td></tr> <tr><td>3,00</td><td>213,63</td></tr> <tr><td>3,75</td><td>204,20</td></tr> <tr><td>4,50</td><td>184,73</td></tr> <tr><td>5,25</td><td>175,93</td></tr> </tbody> </table>		Profundidad de exploración (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	0,75	220,54	1,50	229,96	2,25	214,88	3,00	213,63	3,75	204,20	4,50	184,73	5,25	175,93
Profundidad de exploración (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)																						
0,75	220,54																						
1,50	229,96																						
2,25	214,88																						
3,00	213,63																						
3,75	204,20																						
4,50	184,73																						
5,25	175,93																						
FORMATO-FOR-014																							

RESISTIVIDAD 2.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA							
Laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra							
Facultad de Tecnología - Programa de Tecnología Eléctrica							
Estudio de Resistividad del suelo							
Datos del sitio				Condiciones del suelo			
Fecha de medición: 12 Septiembre de 2012				Color del suelo: Café marron			
Empresa: SENA				Tipo de terreno: Humedo			
Ciudad: Dosquebradas				Último día lluvioso: 10/10/2012			
Ubicación: Centro de diseño e innovación tecnológica				Temperatura: 30			
Departamento: Risaralda				pH:			
Datos del equipo de medición				Accesorios de medición			
Marca: AEMC Instruments				Electrodos: Cobre			
Frecuencia: 128 Hz				Tipo de cable: 14 AWG Cable			
Método de medición: WENNER				Observaciones			
				Norma de referencia: IEEE81 STD91 Responsable de la medición: Ing. Jorge Humberto Sanz A - M.P. RS2050563			
Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos a (m)	Corriente de prueba (mA)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	
N-S	0,75	1	10	20	57	358,14	
	1,50	2	2	20	28,3	330,50	
	2,25	3	2	20	13	245,04	
	3,00	4	2	20	8,7	218,65	
	3,75	5	2	20	6,1	191,64	
	4,50	6	2	20	5,1	192,27	
	5,25	7	2	20	3,6	158,34	
E-O	0,75	1	10	200			
	1,50	2	10	200			
	2,25	3	10	200			
	3,00	4	10	200			
	3,75	5	10	200			
	4,50	6	10	200			
	5,25	7	10	200			
6,00	8						
Perfil de resistividad del terreno 						Valores promedios	
						Profundidad de exploración (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
						0,75	358,14
						1,50	330,50
						2,25	245,04
						3,00	218,65
						3,75	191,64
						4,50	192,27
						5,25	158,34

FORMATO-FOR-014

RESISTIVIDAD 3.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA							
Laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra							
Facultad de Tecnología - Programa de Tecnología Eléctrica							
Estudio de Resistividad del suelo							
Datos del sitio				Condiciones del suelo			
Fecha de medición: 12 Septiembre de 2012				Color del suelo: Café marrón			
Empresa: SENA				Tipo de terreno: Humedo			
Ciudad: Dosquebradas				Último día lluvioso: 10/10/2012			
Ubicación: Centro de diseño e innovación tecnológica				Temperatura: 30			
Departamento: Risaralda				pH:			
Datos del equipo de medición				Accesorios de medición			
Marca: AEMC Instruments				Electrodos: Cobre			
Frecuencia: 128 Hz				Tipo de cable: 14 AWG Cable			
Método de medición: WENNER				Observaciones			
				Norma de referencia: IEEE81 STD91 Responsable de la medición: Ing. Jorge Humberto Sanz A - M.P. RS2050563			
Sentido de la medición	Profundidad de exploración (m)	Separación de electrodos a (m)	Corriente de prueba (mA)	Escala de medición (Ω)	Resistencia medida (Ω)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)	
N-S	0,75	1	10	20	55,5	348,72	
	1,50	2	2	20	25,9	325,47	
	2,25	3	2	20	18,5	348,72	
	3,00	4	2	20	15,8	397,10	
	3,75	5	2	20	11,3	355,00	
	4,50	6	2	20	8,7	327,98	
	5,25	7	2	20	6,7	294,68	
	6,00	8	2	20	5,1	258,35	
E-O	0,75	1	10	200			
	1,50	2	10	200			
	2,25	3	10	200			
	3,00	4	10	200			
	3,75	5	10	200			
	4,50	6	10	200			
	5,25	7	10	200			
	6,00	8					
Perfil de resistividad del terreno 						Valores promedios	
						Profundidad de exploración (m)	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
						0,75	348,72
						1,50	325,47
						2,25	348,72
						3,00	397,10
						3,75	355,00
						4,50	327,98
						5,25	294,68

FORMATO-FOR-014

10. ANEXO B (PROCEDIMIENTO DEL MODELO DE SUELO DE 2 CAPAS).

Se emplean los datos obtenidos del anexo A para aplicar el método de Sunde como se muestra a continuación:

RESISTIVIDAD 1:

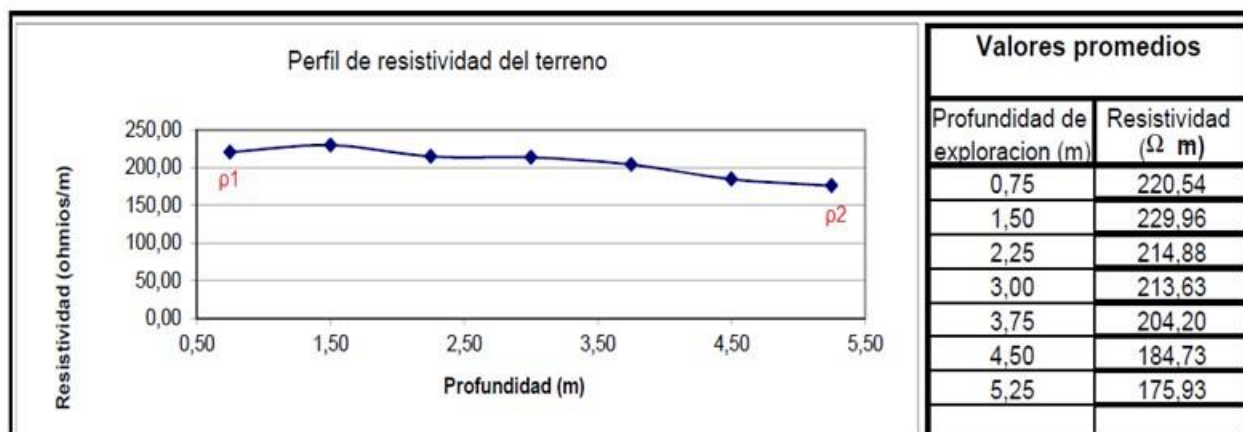
a) Se grafican los datos de la resistividad 1 del anexo A pa vs. a; la curva se muestra en la (ILUSTRACIÓN 27).

ILUSTRACIÓN 26. Perfil de resistividad 1 por el modelo de suelo de dos capas.



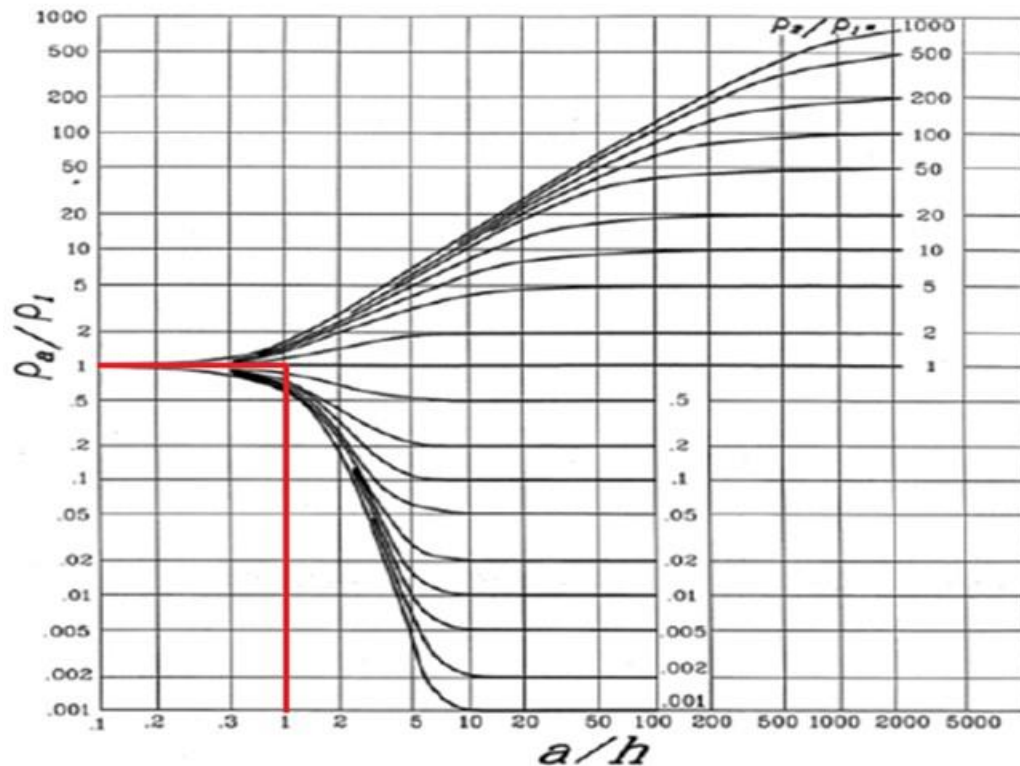
b) De la ILUSTRACIÓN 27 y por inspección visual se toma:
 $\rho_1 = 220,54 \Omega\cdot m$ y $\rho_2 = 175,93 \Omega\cdot m$.

ILUSTRACIÓN 27. Perfil de resistividad 1.



- c) Se determina $\rho_2 / \rho_1 = 175,93/220,54 = 0,797$ y se dibuja esta curva por extrapolación en la Gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 8).
- d) Se selecciona el valor de $\rho_a / \rho_1 = 1$ dentro de la pendiente de la curva apropiada para un $\rho_2 / \rho_1 = 0,797$ de la gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 28).
- e) Se lee el espaciamiento de prueba correspondiente $a/h = 1$ (ILUSTRACIÓN 28).

ILUSTRACIÓN 28. Curvas de Sunde.



- f) Se calcula $\rho_a = (\rho_a / \rho_1) * \rho_1 = 1 * 220,54 \Omega\cdot m = 220,54 \Omega\cdot m$.
- g) En la gráfica ρ_a vs a de la (ILUSTRACIÓN 26). Se lee que para $\rho_a = 220,54 \Omega\cdot m$ el valor de a es 0,75 m.
- h) Se calcula la profundidad de la capa superior, usando la separación de prueba apropiada a .

$$h = \frac{a}{a/h} = \frac{0,75}{1} = 0,75m$$

RESISTIVIDAD 2:

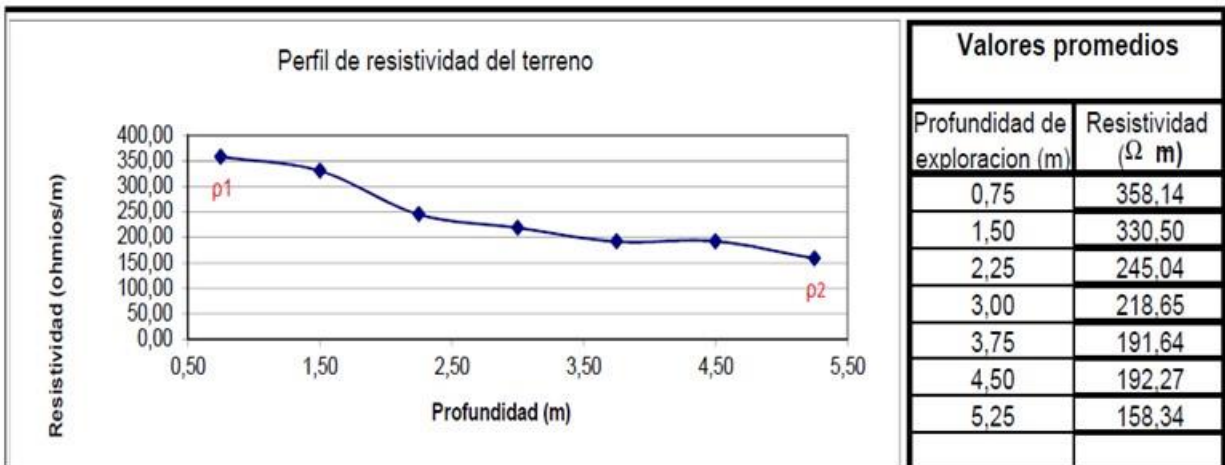
a) Se grafican los datos de la resistividad 2 del anexo A pa vs. a; la curva se muestra en la (ILUSTRACIÓN 30).

ILUSTRACIÓN 29. Perfil de resistividad 2 por el modelo de suelo de dos capas.



b) De la ILUSTRACIÓN 30y por inspección visual se toma:
 $p_1 = 358,14 \Omega\cdot m$ y $p_2 = 158,34 \Omega\cdot m$.

ILUSTRACIÓN 30. Perfil de resistividad 2.

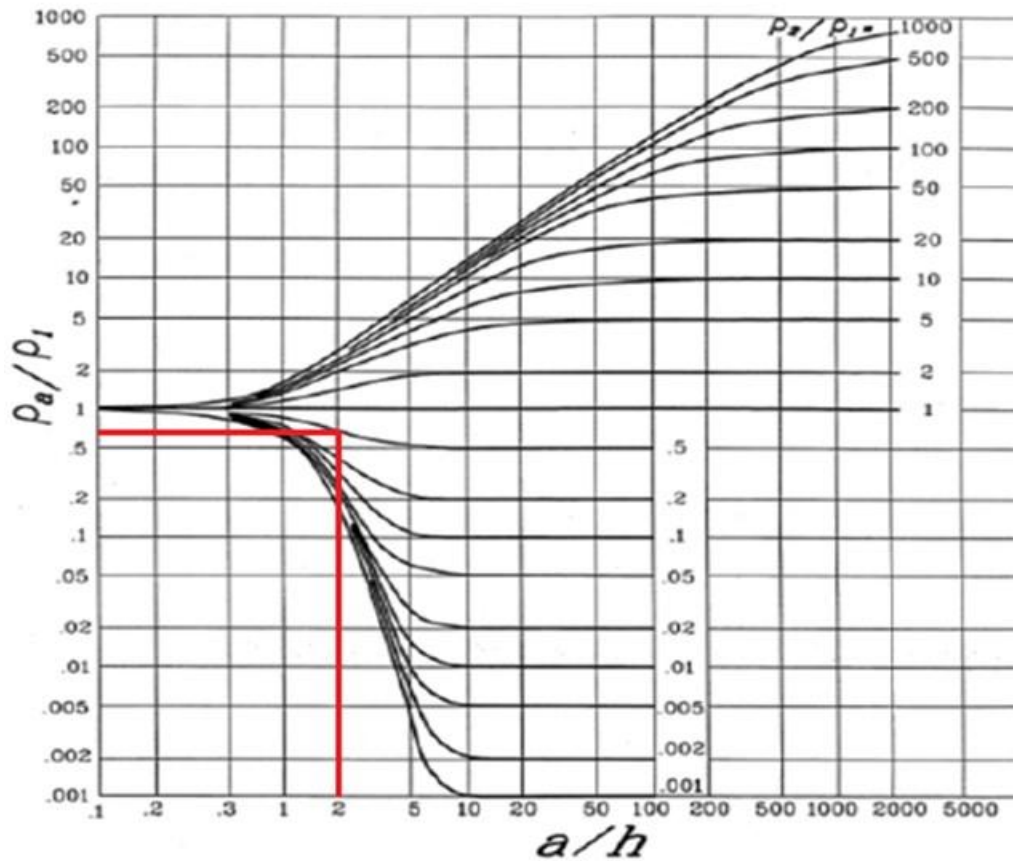


c) Se determina $p_2 / p_1 = 158,34/358,14 = 0,44$ y se dibuja esta curva por extrapolación en la Gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 8).

d) Se selecciona el valor de $p_a / p_1 = 0,7$ dentro de la pendiente de la curva apropiada $p_2 / p_1 = 0,44$ de la gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 31).

e) Se lee el espaciamiento de prueba correspondiente $a/h = 2$ (ILUSTRACIÓN 31).

ILUSTRACIÓN 31. Curvas de Sunde.



f) Se calcula $\rho_a = (\rho_a / \rho_1) \cdot \rho_1 = 0,7 \cdot 358,14 \, \Omega\text{-m} = 250,698 \, \Omega\text{-m}$.

g) En la gráfica ρ_a vs a de la (ILUSTRACIÓN 29). Se lee que para $\rho_a = 250,698 \, \Omega\text{-m}$ el valor de a es 2,2m.

h) Se calcula la profundidad de la capa superior, usando la separación de prueba apropiada a .

$$h = \frac{a}{a/h} = \frac{2,2}{2} = 1,1\text{m}$$

RESISTIVIDAD 3:

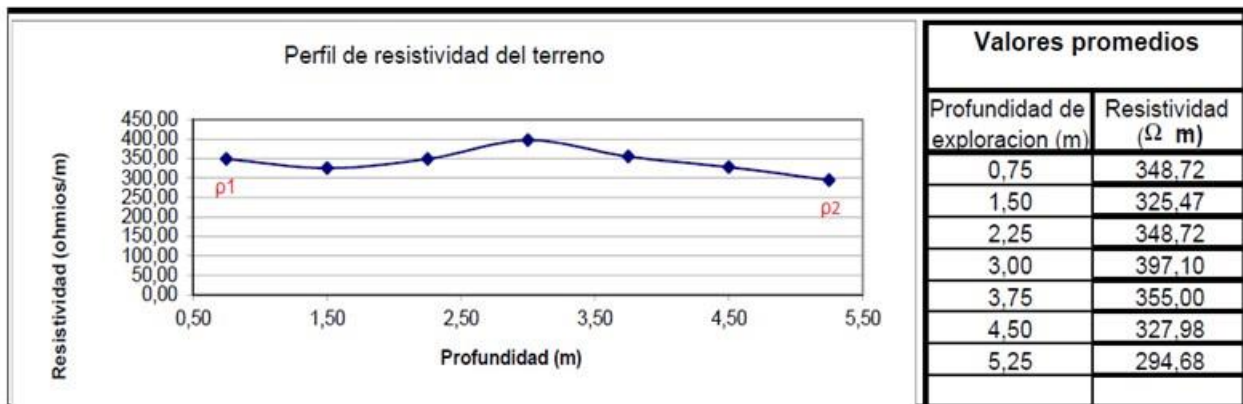
- a) Se grafican los datos de la resistividad 1 del anexo A pa vs. a; la curva se muestra en la (ILUSTRACIÓN 33).

ILUSTRACIÓN 32. Perfil de resistividad 3 por el modelo de suelo de dos capas.



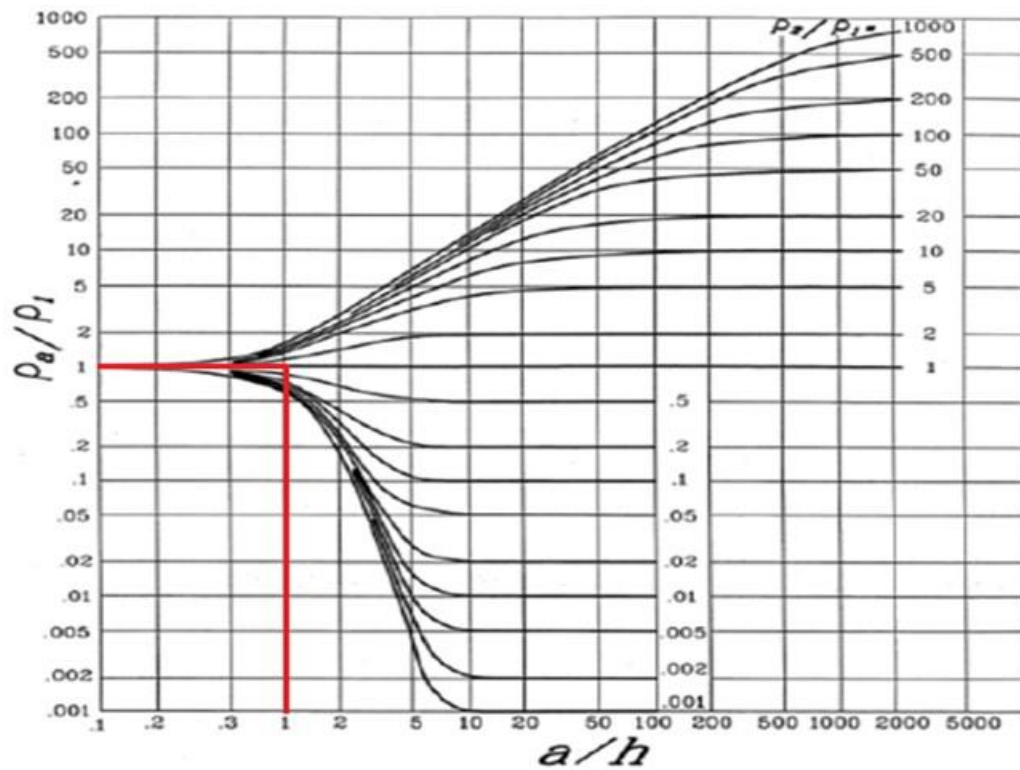
- b) De la (ILUSTRACIÓN 33) y por inspección visual se toma:
 $\rho_1 = 348,72 \Omega\text{-m}$ y $\rho_2 = 294,68 \Omega\text{-m}$.

ILUSTRACIÓN 33. Perfil de resistividad 3.



- c) Se determina $\rho_2 / \rho_1 = 294,68/348,72 = 0,84$ y se dibuja esta curva por extrapolación en la Gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 8).
- d) Se selecciona el valor de $\rho_a / \rho_1 = 1$ dentro de la pendiente de la curva apropiada $\rho_2 / \rho_1 = 0,84$ de la gráfica de Sunde de la (ILUSTRACIÓN 34).
- e) Se lee el espaciamiento de prueba correspondiente $a/h = 1$ (ILUSTRACIÓN 34).

ILUSTRACIÓN 34. Curvas de Sunde.




f) Se calcula $\rho_a = (\rho_a / \rho_1) \cdot \rho_1 = 1 \cdot 348,72 \, \Omega\text{-m} = 348,72 \, \Omega\text{-m}$.

g) En la gráfica ρ_a vs a de la (ILUSTRACIÓN 29). Se lee que para $\rho_a = 348,72 \, \Omega\text{-m}$ el valor de a es 0,75m.

h) Se calcula la profundidad de la capa superior, usando la separación de prueba apropiada a .

$$h = \frac{a}{a/h} = \frac{0,75}{1} = 0,75\text{m}$$

11. ANEXO C (ESTUDIO DE RESISTENCIA DEL SPT).

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA		
Laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra		
Facultad de Tecnología - Programa de Tecnología Eléctrica		
Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra		
Fecha de Medición: 12 de Septiembre de 2012	DATOS DEL EQUIPO	
Empresa: SENA	Marca: AEMC 4500	
Ciudad: DOSQUEBRADAS	Frecuencia: 128 Hz.	
Ubicación: MALLA-SUBESTACION	Tipo de electrodos: Cobre	
Departamento: Risaralda	Cable utilizado: 14 (cable)	

Longitud máxima del sistema de puesta a tierra (m):	3,94 m
---	--------

Distancia a tierra remota		100	m	Valor Medido
Porcentaje	Distancia	corriente	escala	
10%	10	2 mA	20Ω	
20%	20	2 mA	20Ω	
30%	30	2 mA	20Ω	
40%	40	2 mA	20Ω	
50%	50	2 mA	20Ω	0,54
60%	60	2 mA	20Ω	0,57
70%	70	2 mA	20Ω	0,60
80%	80	2 mA	20Ω	
90%	90	2 mA	20Ω	
100%	100	2 mA	20Ω	

Aplicando el Método del 62% (IEEE 81 STD 91-1982)

Valor oficial de la resistencia de puesta a tierra :	0,6	Ω
--	-----	---

Responsable de la medida: Ing. JORGE HUMBERTO SANZ A - M.P. RS205-0563

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA		
Laboratorio de Sistemas de Puesta a Tierra		
Facultad de Tecnología - Programa de Tecnología Eléctrica		
Medida de la Resistencia de Puesta a Tierra		
Fecha de Medición: 12 de Septiembre de 2012	DATOS DEL EQUIPO	
Empresa: SENA	Marca: AEMC 4500	
Ciudad: DOSQUEBRADAS	Frecuencia: 128 Hz.	
Ubicación: MALLA-CANCHA	Tipo de electrodos: Cobre	
Departamento: Risaralda	Cable utilizado: 14 (cable)	

Longitud máxima del sistema de puesta a tierra (m):	3,94 m
---	--------

Distancia a tierra remota	100	m		
Porcentaje	Distancia	corriente	escala	Valor Medido
10%	10	2 mA	20Ω	
20%	20	2 mA	20Ω	
30%	30	2 mA	20Ω	
40%	40	2 mA	20Ω	
50%	50	2 mA	20Ω	7,10
60%	60	2 mA	20Ω	7,23
70%	70	2 mA	20Ω	7,45
80%	80	2 mA	20Ω	
90%	90	2 mA	20Ω	
100%	100	2 mA	20Ω	

Aplicando el Método del 62% (IEEE 81 STD 91-1982)

Valor oficial de la resistencia de puesta a tierra :	7,3	Ω
---	------------	----------

Responsable de la medida: Ing. JORGE HUMBERTO SANZ A - M.P. RS205-0563